

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y ALERTA HIDROMETEOROLÓGICO EN LA REGIÓN PAMPEANA

Martin Blanco^{1,2(*)}, Eleonora Demaria³, Georgina Cazenave^{1,2}, Raúl Rivas^{1,2} y Luis Vives^{1,4}.

¹Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff” (IHLLA). República de Italia 780, Azul, Argentina.

²Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC), La Plata, Argentina

³USDA-ARS Southwest Watershed Research Center, 2000 E Allen Road, Tucson, 85719 AZ, USA.

⁴Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Azul, Argentina

Mail de contacto: mblanco@faa.unicen.edu.ar

INTRODUCCIÓN

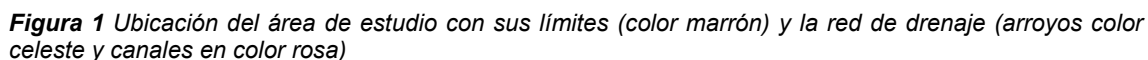
Predecir, a través de pronósticos, es una actividad importante en los ámbitos económicos, sociales y ambientales. En el caso de los pronósticos hidrológicos pueden indicar crecidas, desbordamiento de las aguas, inundaciones, sequías hidrológicas, u otra consecuencia importante, por lo que generar esta información permite dilucidar las mejores decisiones de prevención y atención de desastres naturales, así como también reduce la potencialidad de los conflictos por el aprovechamiento del agua en tiempos de crisis y programar mejor su uso.

En la actualidad es necesario realizar simulaciones hidrológicas que permitan analizar el comportamiento del sistema durante periodos de excesos hídricos. En las últimas dos décadas la Región Pampeana ha experimentado una relevante expansión e intensificación de áreas cultivadas (Barral y Maceira, 2012) donde pasturas nativas han sido reemplazadas por cultivos agrícolas (Modernel et al., 2016). Este cambio en el uso del suelo, sumada la variabilidad climática en la región, ha incrementado las zonas anegables en un sistema hidrológico que se caracteriza por su baja capacidad hidráulica donde el agua precipitada antes de infiltrarse se traslada en forma mantiforme cubriendo grandes extensiones de terreno, movilizadas por la suave pendiente local (Fuschini Mejía, 1994). A pesar de la importancia económica de la Región Pampeana, todavía no se cuentan con herramientas hidrológicas que permitan analizar los periodos de excesos hídricos que afectan la producción agrícola-ganadera, impactando en la biodiversidad del sistema, y generando grandes pérdidas económicas y de vidas (Modernel et al., 2016). En este trabajo se plantea una metodología que tiene como fin desarrollar aplicaciones científicas usando sensoramiento remoto que permitan el monitoreo y pronóstico de condiciones hidrológicas de excesos hídricos.

Actualmente, las estimaciones en tiempo real de datos satelitales de precipitación de alta resolución están sistemáticamente disponibles en todo el mundo, además tomando en consideración que la zona de estudio tiene una inadecuada red de observaciones meteorológicas, se plantea estimar la precipitación mediante la obtención y preparación de un conjunto de datos usando distintos productos satelitales con sesgo corregido y datos procedentes de modelos de pronósticos meteorológicos

En este contexto, la utilización de información hidrometeorológica obtenida con sensores remotos constituye una fuente de información invaluable para el monitoreo y pronóstico de sequías e inundaciones. Estimaciones satelitales de precipitación están propensas a errores debido a distintas fuentes de incertidumbre que pueden contribuir a errores en la predicción de caudales (Yilmaz, 2005; Hong et al., 2006; Hossain y Anagnostou, 2006 y 2004; Tang y Hossain, 2009; Tang et al., 2010; Iida et al., 2010). Sin embargo, la validez de productos satelitales para predicción de caudales en Sudamérica está siendo rápidamente evaluada en distintas cuencas con resultados prometedores (Salio et al., 2015; Demaria et al., 2014; Demaria et al., 2013; De Goncalves et al., 2006; Collischonn et al., 2008; Su et al., 2008; Santos e Silva et al., 2009; Pereira Filho et al., 2010; Buarque et al., 2011; Getirana et al., 2011). Este nuevo enfoque permite representar la incertidumbre en las simulaciones hidrológicas asociada con los forzantes meteorológicos y con la estructura del modelo hidrológico de los diferentes componentes del sistema. Debido a la alta no linealidad del ciclo hidrológico, al incorporar los errores en las forzantes meteorológicas (incertidumbre) en el análisis será posible evaluar qué componentes del ciclo hidrológico amplifican o amortiguan estos errores y contribuyen a la incertidumbre en los caudales simulados.

El área de estudio se encuentra en la región pampeana ubicada en el centro-este de Argentina entre los 56° 40' y 60° 33' de longitud oeste y 36° 00' y 37° 37' de latitud sur. En dicha región, el sistema de drenaje denominado vertiente sur de la cuenca del río Salado en la provincia de Buenos Aires se usará como cuenca piloto para implementar, calibrar y validar los modelos hidrológicos (Figura 1). Abarca una superficie de 39.324 km², y como formas destacables se reconocen un sub-ambiente serrano hacia el sur de la cuenca con altitudes por sobre los 200 msnm (pendiente media del terreno del 5 %), y un sub-ambiente de llanura hacia el norte-noreste, que se extiende de los 130 msnm hasta el nivel del mar, con una zona de transición entre ambos, caracterizada por suaves ondulaciones. En el sector más bajo, sumamente llano, con sus suelos nátricos y drenaje deficiente, se desarrolla principalmente la cría ganadera extensiva en un matriz de pastizales naturales interrumpida por los numerosos almacenamientos en depresión de carácter mayoritariamente semi-permanente.



La morfología en la cuenca hace que las precipitaciones que caen en la zona sur generan escurrimientos superficiales que se concentran rápidamente en los cauces de los arroyos, mientras que en la zona norte el agua se acumula en forma de charcos o lagunas sobre la superficie. En este sector de la cuenca no se tiene una red de drenaje definida, sino una anarquía entre los diferentes niveles de disipación. Desde el punto de vista hidrológico, lo más notable del comportamiento del agua en cuencas tan deprimidas es la acumulación del agua sobre la superficie, y la interacción que se establece entre las aguas superficiales y las subterráneas, conformando un Sistema Hidrológico No Típico (Fertonani y Prendes, 1983).

OBJETIVOS

Objetivo General

Desarrollar aplicaciones científicas usando sensoramiento remoto que permitan el monitoreo y pronóstico de condiciones de excesos hídricos en la región Pampeana.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar la variabilidad espacio - temporal de precipitación usando observaciones en tierra y estimaciones de satélite.
2. Evaluar y comparar estimaciones satelitales de precipitación generadas por diferentes Instituciones a diferentes escalas espaciales y resoluciones (puntual versus a nivel de grilla).
3. Estimar y remover sesgos (biases) en estimaciones de precipitación a tiempo real.
4. Determinar y comparar estimaciones de precipitación de modelos de pronósticos meteorológicos con estaciones en superficie.
5. Evaluar la incertidumbre en estimaciones de precipitación obtenidas de un abanico de productos satelitales disponibles y cuantificar la propagación de la incertidumbre en el ciclo hidrológico.
6. Implementar modelos hidrológicos de diferentes niveles de complejidad para simular y pronosticar flujos (caudales, flujo superficial y evapotranspiración) y estados (humedad del suelo) en la región.
7. Cuantificar la incertidumbre del pronóstico hidrológico a tiempo real, corto plazo (7-10 días).

METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos propuestos se utilizará la siguiente metodología:

Obtención, evaluación y validación de productos satelitales en la región: diferentes productos satelitales serán validados con observaciones pluviométricas a distintas escalas espaciales (puntual versus grillas) y temporales (diario, mensual, anual) para determinar cuáles son los productos que mejor representan la variabilidad natural de la precipitación en la región. Entonces se debe contar con los siguientes componentes detallados a continuación.

i) Datos de estaciones pluviométricas en superficie: se cuenta con una red de estaciones representativas en la vertiente sur de la cuenca del río Salado,

pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y al Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA).

ii) Datos de productos satelitales de precipitación: se utilizarán diferentes productos entre los cuales se pueden mencionar el Climate Prediction Center Morphing Technique (CMORPH), TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA), Precipitation Estimation from Remote Sensing Information using Artificial Neural Network (PERSIANN) y Princeton University y de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS). En la Tabla 1 se muestran las principales características de los mismos.

Tabla 1 Características principales de productos satelitales de precipitación.

Nombre del producto	Resolución temporal	Resolución espacial	Cobertura	Período de Registro
CMORPH	3-horas	0.25 x 0.25	60N - 60S	03/12/2002 – presente
TRMM 3B42-RT (TMPA)	3-horas	0.25 x 0.25	50N - 50S	01/03/2000 – 04/30/2016
PERSIANN	3-horas	0.25 x 0.25	50N - 50S	01/03/2000 – presente
CHIRPS	diario	0.05 x 0.05	50N - 50S	01/01/2001 – 04/30/2016

Obtención y evaluación de pronósticos de precipitación a corto plazo (7-10 días): se validarán diferentes pronósticos de precipitación de escala regional, usando datos de reanálisis se realizará una correlación con datos de las estaciones en superficie y de esta manera determinar cuál se ajusta mejor. Por lo que se debe obtener la siguiente información.

i) Datos de pronósticos de precipitación: se usarán productos de modelos de pronósticos meteorológicos, específicamente a corto plazo disponibles del Global Forecasting System (GFS) de NOAA-NCEP que está disponible a una resolución temporal de 6 horas, con una resolución espacial de 0.5 grado y cobertura global desde 2006. También serán incluidas en el análisis previsiones de precipitación generadas por CPTEC.

Implementación, calibración y validación de un set de modelos hidrológicos con distinto grado de complejidad: la complejidad hidrológica del sistema No-Típico de la región de estudio hace que la incertidumbre en la estructura del modelo dificulte la confiabilidad de las simulaciones hidrológicas. Para reducir el impacto de la incertidumbre estructural en los caudales simulados se usará un método multi-modelo donde tres o más modelos hidrológicos con distinta complejidad estructural serán implementados en la cuenca piloto. Se utilizará un ensamble de modelos basados en leyes físicas (physically-based) como el Variable Infiltration Capacity (VIC) que representa los flujos de agua y energía en una cuenca en forma distribuida en una

grilla y modelos conceptuales como HYMOD_DS, HBV_DS, y SAC-SAM que representan los cambios en humedad del suelo en la cuenca con un sistema de tanques.

Entonces se debe contar con los siguientes componentes detallados a continuación:

i) Datos de precipitación: se utilizarán tanto los productos de precipitación como los pronósticos de precipitación que tengan mejor representación para el área de estudio.

ii) Datos de caudal: se recopilará información de estaciones de caudales ubicadas dentro de la cuenca de estudio con suficientes años de registro, estos datos serán suministrados por la Autoridad del Agua (ADA) y el IHLLA.

iii) Topografía de detalle: se utilizará un modelo de elevación digital del terreno (MDT) con una resolución de 30 metros misión Aster Gdem V2 (Nasa, 2011), este MDT de alta calidad y resolución es adecuado para modelar los procesos de excesos superficiales a nivel de detalle en cuencas de llanura debido a la microtopografía que se da en estas zonas.

iv) Cobertura vegetal: se usará el mapa del Instituto Nacional Tecnológico Agropecuario (INTA, 1992) que se encuentra a escala 1:50000, digitalizado por (Entraigas, 2008).

v) Tipo de suelo: se empleará el mapa de usos del suelo generado en la tesis "Implementación de sistemas de soporte de decisiones multipropósito a escala rural y urbana" (Entraigas, 2008) el cual se encuentra a escala 1:50000.

Caracterización de la incertidumbre de las simulaciones hidrológicas: el enfoque multi-modelo y multi-satélite introducido en la metodología tiene la ventaja de incorporar en el proceso la incertidumbre en los forzantes meteorológicos (productos satelitales) y en la estructura del modelo hidrológico (multi-modelo). La habilidad de cada combinación modelo-satélite será evaluada con respecto a observaciones de caudales, si están disponibles, o a simulaciones usando observaciones de precipitación (caudales de referencia) con el método Inverse Weighting Average (IWA). Este procedimiento incluirá una banda de confianza alrededor de las simulaciones de caudales y permitirá cuantificar cuales son las combinaciones modelo-satélite que mejor representan la hidrología de la cuenca piloto.

CONSIDERACIONES FINALES

Actualmente este trabajo se encuentra en una fase inicial y se espera obtener aplicaciones científicas usando sensoramiento remoto que permitan monitorear y pronosticar condiciones hidrológicas extremas en la Región Pampeana.

Las herramientas que se desarrollarán permitirán caracterizar la variabilidad espacio-temporal de precipitación usando observaciones en tierra y estimaciones de satélite. Asimismo, se implementarán modelos hidrológicos de diferentes niveles de complejidad que permitirá simular y pronosticar caudales en la región y así evaluar un conjunto de pronósticos hidrológicos con lo que será posible cuantificar la incertidumbre de estos a tiempo casi-real y a corto plazo (7-10 días).

La aplicación de la metodología propuesta junto a los pronósticos meteorológicos permitirá contar con pronósticos hidrológicos a corto plazo para establecer políticas de gestión de recursos hídricos.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) a través de la herramienta FONARSEC (FITS MAYCC 19/2013). Los autores desean agradecer a las instituciones nacionales y provinciales, y a las empresas que han avalado el proyecto confiando en que la integración público-privada es una alternativa para responder a las necesidades de la población de la cuenca estudiada.

REFERENCIAS

Barral, M. P. y Maceira, N. O. (2012). Landuse planning based on ecosystem service assessment: A case study in the Southeast Pampas of Argentina. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 154, 34-43.

Buarque D. C., Dias de Paiva R. C., Clarke R. T. and Bulhões Mendes C. A. 2011. A comparison of Amazon rainfall characteristics derived from TRMM, CMORPH and the Brazilian national rain gauge network. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 116 (19), D19105.

Collischonn B., Collischonn W. and Tucci C.E.M. 2008. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. *Journal of Hydrology*, 360 (1–4), 207–216.

De Goncalves L. G. G., Shuttleworth W., Vila D., Larroza E., Bottino M. J., Herdies D. L., Aravequia J. A. De Mattos J. G. Z., Toll D. L. Rodell M. and Houser P. 2009. The South American land data assimilation system (SALDAS) 5-yr retrospective atmospheric forcing datasets. *Journal of Hydrometeorology*, 10, 999–1010. doi:10.1175/2009JHM1049.1.

Demaria E. M.C., Bart Nijssen, Juan B. Valdés, Daniel A. Rodriguez and Fengge Su, *International Journal of River Basin Management* (2014): Satellite precipitation in southeastern South America: how do sampling errors impact high flow simulations? *International Journal of River Basin Management*, DOI: 10.1080/15715124.2013.865637

Entraigas, I., 2008. Implementación de sistemas de soporte de decisiones multipropósito a escalas urbana y rural, tesis doctoral Universidad Nacional de la Plata, 90-100.

Fertonani M. E. y Prendes H. 1983. Hidrología en área de llanura. Aspectos conceptuales, teóricos y metodológicos. En: M.C. Fuschini Mejía (Ed.) *Hidrología de las Grandes Llanuras. Coloquio de Olavarría*. UNESCO. Secretaría Nacional de Recursos Hídricos. Vol. 3: 787-864.

Fuschini Mejía M.C. 1994. *El agua en las llanuras*. UNESCO/ORCYT, Montevideo.

Getirana A. C. V., Espinoza J. C., Ronchail J., Rotunno Filho O.C. 2011. Assessment of different precipitation datasets and their impacts on the water balance of the Negro River basin. *Journal of Hydrology*, 404 (3–4), 304–322.

Hong Y., Hsu K., Moradkhani H. and Sorooshian S. 2006. Uncertainty quantification of satellite precipitation estimation and Monte Carlo assessment of the error propagation into hydrologic response. *Water Resources Research*, 42, W08421. Doi: 10.1029/2005WR004398.

Hossain F. and Anagnostou E.N. 2004. Assessment of current passive-microwave-and infrared-based satellite rainfall remote sensing for flood prediction. *Journal of Geophysical Research*, 109, D07102. doi:10.1029/2003JD003986.

Hossain F. and Anagnostou E.N. 2006. A two-dimensional satellite rainfall error model. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote*, 44 (6), 1511–1522.

Iida Y., Kubota T., Iguchi T. and Oki R. 2010. Evaluating sampling error in TRMM/PR rainfall products by the bootstrap method: estimation of the sampling error and its application to a trend analysis. *Journal of Geophysical Research*, 115, D22119. doi:10.1029/2010JD014257.

Modernel P., Rossing W. A. H., Corbeels M., Dogliotti S., Picasso V. and Tittone P. 2016. Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. *Environ. Res. Lett.* 11 (2016) 113002 doi:10.1088/1748-9326/11/11/113002

Pereira Filho A. J., Carbone R. E., Janowiak J. E., Arkin P., Joyce R., Hallak R. and Ramos C. G. M. 2010. Satellite rainfall estimates over South America – possible applicability to the water management of large watersheds. *Journal of the American Water Resources Association*, 46 (2), 344–360. Doi: 10.1111/j. 1752-1688.2009.00406.x.

Salio P., Hobouchian M. P., García Skabar Y. and Vila D. 2015. Evaluation of high-resolution satellite precipitation estimates over southern South America using a dense rain gauge network. *Atmospheric Research* 163 (2015) 146–161.

Santos e Silva C. M., Ribeiro de Freitas S., Gielow R. and Santana de Barros S. 2009. Evaluation of high-resolution precipitation estimate over the Amazon basin. *Atmospheric Science Letters*, 10 (4), 273–278.

Su F., Hong Y. and Lettenmaier D. P. 2008. Evaluation of TRMM Multi-satellite precipitation analysis TMPA and its utility in hydrologic prediction in La Plata Basin. *Journal of Hydrometeorology*, 9 (4), 622–640.

Tang L. and Hossain F. 2009. Transfer of satellite rainfall error from gaged to ungaged locations: how realistic will it be for the global precipitation mission? *Geophysical Research Letters*, 36 (10). doi:10.1029/2009GL037965.

Tang L., Hossain F. and Huffman G. J. 2010. Transfer of satellite rainfall uncertainty from gauged to ungauged regions at regional and seasonal time scales. *Journal of Hydrometeorology*, 11 (6), 1263–1274. doi:10.1175/2010JHM1296.1.

Yilmaz K. K. 2005. Intercomparison of rain gauge, radar, and satellite-based precipitation estimates with emphasis on hydrologic forecasting. *Journal of Hydrometeorology*, 6 (9), 497–517.